

## ANTENNE MULTI-FAISCEAUX A MATERIAU BIP

L'invention concerne une antenne multi-faisceaux comportant :

- un matériau BIP (Bande d'Interdiction Photonique) apte à filtrer spatialement et fréquemment des ondes électromagnétiques, ce matériau BIP présentant au moins une bande non passante et formant une surface extérieure rayonnante en émission et/ou en réception,
- au moins un défaut de périodicité du matériau BIP de manière à créer au moins une bande passante étroite au sein de ladite au moins une bande non passante de ce matériau BIP, et
- un dispositif d'excitation apte à émettre et/ou recevoir des ondes électromagnétiques à l'intérieur de ladite au moins une bande passante étroite créée par ledit au moins un défaut.

Les antennes multi-faisceaux sont très utilisées dans les applications spatiales et notamment dans des satellites géostationnaires pour émettre vers la surface terrestre et/ou recevoir des informations à partir de la surface terrestre. Elles comportent à cet effet plusieurs éléments rayonnants générant chacune un faisceau d'ondes électromagnétiques espacé des autres faisceaux. Ces éléments rayonnants sont, par exemple, placés à proximité du foyer d'une parabole formant réflecteur de faisceaux d'ondes électromagnétiques, la parabole et l'antenne multi-faisceaux étant logées dans un satellite géostationnaire. La parabole est destinée à diriger chaque faisceau sur une zone correspondante de la surface terrestre. Chaque zone de la surface terrestre éclairée par un faisceau de l'antenne multi-faisceaux est communément appelée une zone de couverture. Ainsi, chaque zone de couverture correspond à un élément rayonnant.

Actuellement, les éléments rayonnants utilisés sont connus sous le terme de "cornets" et l'antenne multi-faisceaux équipée de tels cornets est désignée sous le nom d'antenne à cornets. Chaque cornet produit une tache rayonnante sensiblement circulaire formant l'embase d'un faisceau conique rayonné en émission ou en réception. Ces cornets sont disposés les uns à côté des autres de manière à rapprocher le plus possible les taches rayonnantes les unes des autres.

La figure 1A représente schématiquement une antenne multi-faisceaux à cornets en vue de face dans laquelle sept carrés F1 à F7 indiquent l'encombrement de sept cornets disposés jointivement les uns aux autres. Sept cercles S1 à S7, inscrits chacun dans l'un des carrés F1 à F7, représentent les taches rayonnantes produites par les cornets correspondants. L'antenne de la figure 1A est placée au foyer d'une parabole d'un satellite géostationnaire destinée à émettre des informations sur le territoire français.

La figure 1B représente des zones C1 à C7 de couverture à -3 dB, correspondant chacune à une tache rayonnante de l'antenne de la figure 1A. Le centre de chaque cercle correspond à un point de la surface terrestre où la puissance reçue est maximale. Le pourtour de chaque cercle délimite une zone à l'intérieur de laquelle la puissance reçue sur la surface terrestre est supérieure à la moitié de la puissance maximale reçue au centre du cercle. Bien que les taches rayonnantes S1 à S7 soient pratiquement jointives, celles-ci produisent des zones de couverture à -3 dB disjointes les unes des autres. Les régions situées entre les zones de couverture à -3 dB sont appelées, ici, des trous de réception. Chaque trou de réception correspond donc à une région de la surface terrestre où la puissance reçue est inférieure à la moitié de la puissance maximale reçue. Dans ces trous de réception, la puissance reçue peut s'avérer insuffisante pour qu'un récepteur au sol puisse fonctionner correctement.

Pour résoudre ce problème de trou de réception, il a été proposé de chevaucher entre elles les taches rayonnantes de l'antenne multi-faisceaux. Une vue de face partielle d'une telle antenne multi-faisceaux comportant plusieurs taches rayonnantes se chevauchant est illustrée à la figure 2A. Sur cette figure, seules deux taches rayonnantes SR1 et SR2 ont été représentées. Chaque tache rayonnante est produite à partir de sept sources de rayonnement indépendantes et distinctes les unes des autres. La tache rayonnante SR1 est formée à partir des sources de rayonnement SdR1 à SdR7 disposées jointivement les unes à côtés des autres. Une tache rayonnante SR2 est produite à partir des sources de rayonnement SdR1, SdR2, SdR3 et SdR7 et de sources de rayonnement SdR8 à SdR10. Les sources de rayonnement SdR1 à SdR7 sont propres à travailler à une première fréquence de travail pour

créer un premier faisceau d'ondes électromagnétiques sensiblement uniforme à cette première fréquence. Les sources de rayonnement SdR1 à SdR3 et SdR7 à SdR10 sont propres à travailler à une seconde fréquence de travail de manière à créer un second faisceau d'ondes électromagnétiques sensiblement uniforme à cette seconde fréquence de travail. Ainsi, les sources de rayonnement SdR1 à SdR3 et SdR7 sont aptes à travailler simultanément à la première et à la seconde fréquences de travail. La première et la seconde fréquences de travail sont différentes l'une de l'autre de manière à limiter les interférences entre le premier et le second faisceaux produits.

10           Ainsi, dans une telle antenne multi-faisceaux, des sources de rayonnement, telles que les sources de rayonnement SdR1 à 3, sont utilisées à la fois pour créer la tache rayonnante SR1 et la tache rayonnante SR2, ce qui produit un chevauchement de ces deux taches rayonnantes SR1 et SR2. Une illustration de la disposition des zones de couverture à -3 dB créées par une antenne multi-faisceaux présentant des taches rayonnantes chevauchées est représentée sur la figure 2B. Une telle antenne permet de réduire considérablement les trous de réception, voire même de les faire disparaître. Toutefois, en partie à cause du fait qu'une tache rayonnante est formée à partir de plusieurs sources de rayonnement indépendantes et distinctes les unes des autres, dont au moins certaines sont également utilisées pour d'autres taches rayonnantes, cette antenne multi-faisceaux est plus complexe à commander que les antennes à cornets classiques.

L'invention vise à remédier à cet inconvénient en proposant une antenne multi-faisceaux à taches rayonnantes chevauchées plus simple.

25           Elle a donc pour objet une antenne telle que définie plus haut, caractérisée :

- en ce que le dispositif d'excitation est apte à travailler simultanément au moins autour d'une première et d'une seconde fréquences de travail distinctes,

30           - en ce que le dispositif d'excitation comporte un premier et un second éléments d'excitation distincts et indépendants l'un de l'autre, aptes chacun à émettre et/ou à recevoir des ondes électromagnétiques, le premier élément d'excitation étant apte à travailler à la première fréquence de travail et

le second élément d'excitation étant apte à travailler à la seconde fréquence de travail,

- en ce que le ou chaque défaut de périodicité du matériau BIP forme une cavité résonante à fuites présentant une hauteur constante dans une direction orthogonale à ladite surface extérieure rayonnante, et des dimensions

latérales déterminées parallèles à ladite surface extérieure rayonnante,  
- en ce que la première et la seconde fréquences de travail sont aptes à exciter le même mode de résonance d'une cavité résonante à fuites, ce mode de résonance s'établissant de façon identique quelles que soient les dimensions latérales de la cavité, de manière à créer sur ladite surface extérieure respectivement une première et une seconde taches rayonnantes, chacune de ces taches rayonnantes représentant l'origine d'un faisceau d'ondes électromagnétiques rayonnées en émission et/ou en réception par l'antenne,

- en ce que chacune des taches rayonnantes présente un centre géométrique dont la position est fonction de la position de l'élément d'excitation qui lui donne naissance et dont la surface est supérieure à celle de l'élément rayonnant lui donnant naissance, et

- en ce que le premier et le second éléments d'excitation sont placés l'un par rapport à l'autre de manière à ce que la première et la seconde taches rayonnantes soient disposées sur la surface extérieure du matériau BIP l'une à côté de l'autre et se chevauchent partiellement.

Dans l'antenne multi-faisceaux décrite ci-dessus, chaque élément d'excitation produit une seule tache rayonnante formant l'embase ou section droite à l'origine d'un faisceau d'ondes électromagnétiques. Ainsi, de ce point de vue là, cette antenne est comparable avec les antennes à cornets conventionnelles où un cornet produit une seule tache rayonnante. La commande de cette antenne est donc similaire à celle d'une antenne à cornets conventionnelle. De plus, les éléments d'excitation sont placés de manière à chevaucher les taches rayonnantes. Cette antenne présente donc les avantages d'une antenne multi-faisceaux à taches rayonnantes chevauchées sans que la complexité de la commande des éléments d'excitation ait été accrue par rapport à celle des antennes multi-faisceaux à cornets.

Suivant d'autres caractéristiques d'une antenne multi-faisceaux conforme à l'invention :

- chaque tache rayonnante est sensiblement circulaire, le centre géométrique correspondant à un maximum de puissance émise et/ou reçue et la périphérie correspondant à une puissance émise et/ou reçue égale à une fraction de la puissance maximale émise et/ou reçue en son centre, et la distance, dans un plan parallèle à la surface extérieure, séparant les centres géométriques des deux éléments d'excitation, est strictement inférieure au rayon de la tache rayonnante produite par le premier élément d'excitation ajouté au rayon de la tache rayonnante produite par le second élément d'excitation,
  - le centre géométrique de chaque tache rayonnante est placé sur la ligne orthogonale à ladite surface extérieure rayonnante et passant par le centre géométrique de l'élément d'excitation lui donnant naissance,
  - le premier et le second éléments d'excitation sont placés à l'intérieur d'une même cavité,
  - la première et la seconde fréquences de travail sont situées à l'intérieur de la même bande passante étroite créée par cette même cavité,
  - le premier et le second éléments d'excitation sont placés chacun à l'intérieur de cavités résonantes distinctes, et la première et la seconde fréquences de travail sont aptes à exciter chacune un mode de résonance indépendant des dimensions latérales de leur cavité respective,
  - un plan réflecteur de rayonnement électromagnétique associé au matériau BIP, ce plan réflecteur étant déformé de manière à former lesdites cavités distinctes,
  - la ou chaque cavité est de forme parallélépipédique,
  - le dispositif apte à focaliser les ondes électromagnétiques comporte un réflecteur en forme de demi-cylindre, et le matériau BIP de l'antenne présente une surface convexe correspondant à la surface en forme de demi-cylindre du réflecteur.
- L'invention concerne également un système d'émission et/ou de réception d'ondes électromagnétiques comportant :
- un dispositif apte à focaliser les ondes électromagnétiques émises et/ou reçues par le système sur un point focal, et

- un émetteur et/ou récepteur d'ondes électromagnétiques placé sensiblement au point focal de manière à émettre et/ou recevoir lesdites ondes électromagnétiques, caractérisé en ce qu'il comporte une antenne selon l'invention, dont la surface extérieure rayonnante est sensiblement placée sur le point focal de manière à former ledit émetteur et/ou récepteur d'ondes électromagnétiques.

Suivant d'autres caractéristiques du système conforme à l'invention :

- le dispositif apte à focaliser les ondes électromagnétiques est un réflecteur parabolique,
- le dispositif apte à focaliser les ondes électromagnétiques est une lentille électromagnétique.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple, et faite en se référant aux dessins, sur lesquels :

- les figures 1A, 1B, 2A et 2B représentent des antennes multi-faisceaux connues ainsi que les zones de couverture résultantes ;
- la figure 3 est une vue en perspective d'une antenne multi-faisceaux conforme à l'invention ;
- la figure 4 est un graphique représentant le coefficient de transmission de l'antenne de la figure 3 ;
- la figure 5 est un graphique représentant le diagramme de rayonnement de l'antenne de la figure 3 ;
- la figure 6 est une illustration schématique et en coupe d'un système d'émission/réception d'ondes électromagnétiques équipé de l'antenne de la figure 3 ;
- la figure 7 représente un deuxième mode de réalisation d'une antenne multi-faisceaux conforme à l'invention ;
- la figure 8 représente le coefficient de transmission de l'antenne de la figure 7 ;
- la figure 9 représente un troisième mode de réalisation d'une antenne multi-faisceaux conforme à l'invention ; et
- la figure 10 est une illustration d'une antenne semi-cylindrique conforme à l'invention.

La figure 3 représente une antenne multi-faisceaux 4. Cette antenne 4 est formée d'un matériau 20 à bande d'interdiction photonique ou matériau BIP associé à un plan métallique 22 réflecteur d'ondes électromagnétiques.

5 Les matériaux BIP sont connus et la conception d'un matériau BIP tel que le matériau 20 est, par exemple, décrite dans la demande de brevet FR 99 14521. Ainsi, seules les caractéristiques spécifiques de l'antenne 4 par rapport à cet état de la technique seront décrites ici en détail.

10 Il est rappelé qu'un matériau BIP est un matériau qui possède la propriété d'absorber certaines gammes de fréquences, c'est-à-dire d'interdire toute transmission dans lesdites gammes de fréquences précitées. Ces gammes de fréquences forment ce qu'il est appelé ici une bande non passante.

Une bande non passante B du matériau 20 est illustrée à la figure 4. Cette figure 4 représente une courbe représentant les variations du coefficient de transmission exprimé en décibels en fonction de la fréquence de l'onde électromagnétique émise ou reçue. Ce coefficient de transmission est représentatif de l'énergie transmise d'un côté du matériau BIP par rapport à l'énergie reçue de l'autre côté. Dans le cas du matériau 20, la bande non passante B ou bande d'absorption B s'étend sensiblement de 7 GHz à 17 GHz.

20 La position et la largeur de cette bande non passante B est uniquement fonction des propriétés et des caractéristiques du matériau BIP.

Le matériau BIP est généralement constitué d'un arrangement périodique de diélectrique de permittivité et/ou de perméabilité variable. Ici, le matériau 20 est formé à partir de deux lames 30, 32 réalisées dans un premier matériau magnétique tel que de l'alumine et de deux lames 34 et 36 formées dans un second matériau magnétique tel que de l'air. La lame 34 est interposée entre les lames 30 et 32, tandis que la lame 36 est interposée entre la lame 32 et le plan réflecteur 22. La lame 30 est disposée à une extrémité de cet empilement de lames. Elle présente une surface extérieure 38 à l'opposé de sa surface en contact avec la lame 34. Cette surface 38 forme une surface rayonnante en émission et/ou en réception.

30 De façon connue, l'introduction d'une rupture dans cette périodicité géométrique et/ou radioélectrique, rupture encore appelée défaut, permet

d'engendrer un défaut d'absorption et donc la création d'une bande passante étroite au sein de la bande non passante du matériau BIP. Le matériau est, dans ces conditions, désigné par matériau BIP à défauts.

Ici, une rupture de périodicité géométrique est créée en choisissant la hauteur ou épaisseur H de la lame 36 supérieure à celle de la lame 34. De façon connue, et de manière à créer une bande passante étroite E (figure 4) sensiblement au milieu de la bande passante B, cette hauteur H est définie par la relation suivante :

$$H = 0,5 \times \lambda / \sqrt{\epsilon_r \times \mu_r}$$

où :

- $\lambda$  est la longueur d'onde correspondant à la fréquence médiane  $f_m$  de la bande passante E,
- $\epsilon_r$  est la permittivité relative de l'air, et
- $\mu_r$  est la perméabilité relative de l'air.

Ici, la fréquence médiane  $f_m$  est sensiblement égale à 1.2 GHz.

La lame 36 forme une cavité résonante parallélépipédique à fuites dont la hauteur H est constante et dont les dimensions latérales sont définies par les dimensions latérales du matériau BIP 20 et du réflecteur 22. Ces lames 30 et 32, ainsi que le plan réflecteur 22, sont rectangulaires et de dimensions latérales identiques. Ici, ces dimensions latérales sont choisies de manière à être plusieurs fois plus grandes que le rayon R défini par la formule empirique suivante :

$$G_{dB} \geq 20 \log \frac{\pi \Phi}{\lambda} - 2,5. \quad (1)$$

où :

- $G_{dB}$  est le gain en décibels souhaité pour l'antenne,
- $\Phi = 2 R$ ,
- $\lambda$  est la longueur d'onde correspondant à la fréquence médiane  $f_m$

A titre d'exemple, pour un gain de 20 dB, le rayon R est sensiblement égal à  $2.15 \lambda$ .

De façon connue, une telle cavité résonante parallélépipédique présente plusieurs familles de fréquences de résonance. Chaque famille de



fréquences de résonance est formée par une fréquence fondamentale et ses harmoniques ou multiples entiers de la fréquence fondamentale. Chaque fréquence de résonance d'une même famille excite le même mode de résonance de la cavité. Ces mode de résonance sont connus sous les termes  
5 de modes de résonance  $TM_0$ ,  $TM_1$ , ...,  $TM_i$ , ... . Ces modes de résonance sont décrits plus en détail dans le document de F. Cardiol, "Electromagnétisme, traité d'Electricité, d'Electronique et d'Electrotechnique", Ed. Dunod, 1987.

Il est rappelé ici que le mode de résonance  $TM_0$  est susceptible d'être excité par une gamme de fréquences d'excitation voisine d'une fréquence  
10 fondamentale  $f_{m0}$ . De façon similaire, chaque mode  $TM_i$  est susceptible d'être excité par une gamme de fréquences d'excitation voisine d'une fréquence fondamentale  $f_{mi}$ . Chaque mode de résonance correspond à un diagramme de rayonnement de l'antenne particulier et à une tache rayonnante en émission et/ou en réception formée sur la surface extérieure 38. La tache rayonnante est  
15 ici la zone de la surface extérieure 38 contenant l'ensemble des points où la puissance rayonnée en émission et/ou en réception est supérieure ou égale à la moitié de la puissance maximale rayonnée à partir de cette surface extérieure par l'antenne 4. Chaque tache rayonnante admet un centre géométrique correspondant au point où la puissance rayonnée est  
20 sensiblement égale à la puissance rayonnée maximale.

Dans le cas du mode de résonance  $TM_0$ , cette tache rayonnante s'inscrit dans un cercle dont le diamètre  $\phi$  est donné par la formule (1). Pour le mode de résonance  $TM_0$ , le diagramme de rayonnement est ici fortement directif le long d'une direction perpendiculaire à la surface extérieure 38 et  
25 passant par le centre géométrique de la tache rayonnante. Le diagramme de rayonnement correspondant au mode de résonance  $TM_0$  est illustré sur la figure 5.

Les fréquences  $f_{mi}$  sont placées à l'intérieur de la bande passante étroite E.

30 Finalement, quatre éléments d'excitation 40 à 43 sont placés les uns à côté des autres dans la cavité 36 sur le plan réflecteur 22. Dans l'exemple décrit ici, les centres géométriques de ces éléments d'excitation sont placés

aux quatre angles d'un losange dont les dimensions des côtés sont strictement inférieures à  $2R$ .

Chacun de ces éléments d'excitation est apte à émettre et/ou recevoir une onde électromagnétique à une fréquence de travail  $f_{Ti}$  différente de celle des autres éléments d'excitation. Ici, la fréquence  $f_{Ti}$  de chaque élément d'excitation est voisine de  $f_{m0}$  de manière à exciter le mode de résonance  $TM_0$  de la cavité 36. Ces éléments d'excitation 40 à 43 sont raccordés à un générateur/récepteur 45 classique de signaux électriques destinés à être transformés par chaque élément d'excitation en une onde électromagnétique et vice-versa.

Ces éléments d'excitation sont, par exemple, constitués par un dipôle rayonnant, une fente rayonnant, une sonde plaque ou un patch rayonnants. L'encombrement latéral de chaque élément rayonnant, c'est-à-dire dans un plan parallèle à la surface extérieure 38, est strictement inférieur à la surface de la tache rayonnante à laquelle il donne naissance.

La figure 6 illustre un exemple d'application de l'antenne 4. La figure 6 représente un système 60 d'émission et/ou de réception d'ondes électromagnétiques propre à équiper un satellite géostationnaire. Ce système 60 comporte une parabole 62 formant réflecteur de faisceaux d'ondes électromagnétiques et l'antenne 4 placée au foyer de cette parabole 62. Les faisceaux d'ondes électromagnétiques émis ou reçus par la surface extérieure 38 de l'antenne 4 sont représentés sur cette figure par des traits 64.

Le fonctionnement de l'antenne de la figure 3 va maintenant être décrit dans le cas particulier du système de la figure 6.

En émission, l'élément d'excitation 40, activé par le générateur/récepteur 45, émet une onde électromagnétique à une fréquence de travail  $f_{T0}$  et excite le mode de résonance  $TM_0$  de la cavité 36. Les autres éléments rayonnants 41 à 43 sont, par exemple, simultanément activés par le générateur/récepteur 45 et font de même respectivement aux fréquences de travail  $f_{T1}$ ,  $f_{T2}$  et  $f_{T3}$ .

Il a été découvert que, pour le mode de résonance  $TM_0$ , la tache rayonnante et le diagramme de rayonnement correspondant sont indépendants des dimensions latérales de la cavité 36. En effet, le mode de résonance  $TM_0$

n'est fonction que de l'épaisseur et de la nature des matériaux de chacune des lames 30 à 36 et s'établit indépendamment des dimensions latérales de la cavité 36 lorsque celles-ci sont plusieurs fois supérieures au rayon  $R$  défini précédemment. Ainsi, plusieurs modes de résonance  $TM_0$  peuvent s'établir  
5 simultanément l'un à côté de l'autre et donc générer simultanément plusieurs taches rayonnantes disposées les unes à côté des autres. C'est ce qui se produit lorsque les éléments d'excitation 40 à 43 excitent, chacun en des points différents de l'espace, le même mode de résonance. Par conséquent, l'excitation par l'élément d'excitation 40 du mode de résonance  $TM_0$  se traduit  
10 par l'apparition d'une tache rayonnante 46 sensiblement circulaire et dont le centre géométrique est placé à la verticale du centre géométrique de l'élément 40. De façon similaire, l'excitation par les éléments 41 à 43 du mode de résonance  $TM_0$  se traduit par l'apparition, à la verticale du centre géométrique de chacun de ces éléments, respectivement de taches rayonnantes 47 à 49. Le  
15 centre géométrique de l'élément 40 étant à une distance strictement inférieure à  $2R$  du centre géométrique des éléments 41 et 43, la tache rayonnante 46 chevauche en partie les taches rayonnantes 47 et 49 correspondant respectivement aux éléments rayonnants 41 et 43. Pour les mêmes raisons, la tache rayonnante 49 chevauche en partie les taches rayonnantes 46 et 48, la  
20 tache rayonnante 48 chevauche en partie les taches rayonnantes 49 et 47 et la tache rayonnante 47 chevauche en partie les taches rayonnantes 46 et 48.

Chaque tache rayonnante correspond à l'embase ou section droite à l'origine d'un faisceau d'ondes électromagnétiques rayonné vers la parabole 62 et réfléchi par cette parabole 62 vers la surface terrestre. Ainsi, de façon  
25 similaire aux antennes multi-faisceaux à taches rayonnantes chevauchées connues, les zones de couverture sur la surface terrestre correspondant à chacun des faisceaux émis sont proches les unes des autres, voire se chevauchent, de manière à supprimer ou à réduire les trous de réception.

En réception, de façon similaire à ce qui a été décrit en émission,  
30 chaque tache rayonnante de la surface extérieure 38 correspond à une zone de couverture sur la surface terrestre. Ainsi, par exemple, si une onde électromagnétique est émise à partir de la zone de couverture correspondant à la tache rayonnante 46, celle-ci est reçue dans la surface correspondant à la

tache 46 après avoir été réfléchiée par la parabole 62. Si l'onde reçue est à une fréquence comprise dans la bande passante étroite E, elle n'est pas absorbée par le matériau BIP 20 et elle est reçue par l'élément d'excitation 40. Chaque onde électromagnétique reçue par un élément d'excitation est transmise sous  
5 forme d'un signal électrique au générateur/récepteur 45.

La figure 7 représente une antenne 70 réalisée à partir d'un matériau BIP 72 et d'un réflecteur 74 d'ondes électromagnétiques et la figure 8 l'évolution du coefficient de transmission de cette antenne en fonction de la fréquence.

Le matériau BIP 72 est, par exemple, identique au matériau BIP 20  
10 et présente la même bande non passante B (figure 8). Les lames formant ce matériau BIP déjà décrites en regard de la figure 3 portent les mêmes références numériques.

Le réflecteur 74 est formé, par exemple, à partir du plan réflecteur 22 déformé de manière à diviser la cavité 36 en deux cavités résonantes 76 et 78  
15 de hauteurs différentes. La hauteur constante  $H_1$  de la cavité 76 est déterminée de manière à placer, au sein de la bande non passante B, une bande passante étroite  $E_1$  (figure 8), par exemple, autour de la fréquence de 10 GHz. De façon similaire, la hauteur  $H_2$  de la cavité résonante 78 est déterminée pour placer, au sein de la même bande non passante B, une bande passante étroite  $E_2$   
20 (figure 8), par exemple centrée autour de 14 GHz. Le réflecteur 74 se compose ici de deux demi-plans réflecteurs 80 et 82, disposés en gradins et reliés électriquement l'un à l'autre. Le demi-plan réflecteur 80 est parallèle à la lame 32 et espacé de celle-ci de la hauteur  $H_1$ . Le demi-plan 82 est parallèle à la lame 32 et espacé de celle-ci de la hauteur constante  $H_2$ .

25 Finalement, un élément d'excitation 84 est disposé dans la cavité 76 et un élément d'excitation 86 est disposé dans la cavité 78. Ces éléments d'excitation 84, 86 sont, par exemple, identiques aux éléments d'excitation 40 à 43 à l'exception du fait que l'élément d'excitation 84 est propre à exciter le mode de résonance  $TM_0$  de la cavité 76, tandis que l'élément d'excitation 86 est  
30 propre à exciter le mode de résonance  $TM_0$  de la cavité 78.

Dans ce mode de réalisation, la distance horizontale, c'est-à-dire parallèle à la lame 32, séparant le centre géométrique des éléments

d'excitation 84 et 86, est strictement inférieure à la somme des rayons de deux taches rayonnantes produites respectivement par les éléments 84 et 86.

Le fonctionnement de cette antenne 70 est identique à celui de l'antenne de la figure 3. Toutefois, dans ce mode de réalisation, les fréquences de travail des éléments d'excitation 84 et 86 sont situées dans des bandes passantes étroites  $E_1$ ,  $E_2$  respectives. Ainsi, contrairement à l'antenne 4 de la figure 3, les fréquences de travail de chacun de ces éléments d'excitation sont séparées l'une de l'autre par un grand intervalle de fréquence, par exemple, ici, 4 GHz. Dans ce mode de réalisation, les positions des bandes passantes  $E_1$ ,  $E_2$  sont choisies de manière à pouvoir utiliser des fréquences de travail imposées.

La figure 9 représente une antenne multi-faisceaux 100. Cette antenne 100 est similaire à l'antenne 4 à l'exception du fait que le matériau BIP mono-défaut 20 du dispositif rayonnant 4 est remplacé par un matériau BIP 102 à plusieurs défauts. Sur la figure 7, les éléments déjà décrits en regard de la figure 4 portent les mêmes références numériques.

L'antenne 100 est représentée en coupe suivant un plan de coupe perpendiculaire au plan réflecteur 22 et passant par les éléments d'excitation 41 et 43.

Le matériau BIP 102 comporte deux groupements successifs 104 et 106 de lames réalisées dans un premier matériau diélectrique. Les groupements 104 et 106 sont superposés dans la direction perpendiculaire au plan réflecteur 22. Chaque groupement 104, 106 est formé, à titre d'exemple non limitatif, respectivement par deux lames 110, 112 et 114, 116 parallèles au plan réflecteur 22. Chaque lame d'un groupement a la même épaisseur que les autres lames de ce même groupement. Dans le cas du groupement 106, chaque lame a une épaisseur  $e_2 = \lambda/2$  où  $\lambda$  désigne la longueur d'onde de la fréquence médiane de la bande étroite créée par les défauts du matériau BIP.

Chaque lame du groupement 104 a une épaisseur  $e_1 = \lambda/4$ .

Le calcul de ces épaisseurs  $e_1$  et  $e_2$  découle de l'enseignement divulgué dans le brevet français 99 14521 (2 801 428).

Entre chaque lame du matériau BIP 102 à défaut est interposée une lame en un second matériau diélectrique, tel que de l'air. L'épaisseur de ces lames séparant les lames 110, 112, 114 et 116 est égale à  $\lambda/4$ .

La première lame 116 est disposée en vis-à-vis du plan réflecteur 22 et séparée de ce plan par une lame en second matériau diélectrique d'épaisseur  $\lambda/2$  de manière à former une cavité parallélépipédique résonante à fuites. De préférence, l'épaisseur  $e_i$  des lames de matériau diélectrique, consécutive de chaque groupe de lames de matériau diélectrique, est en progression géométrique de raison  $q$  dans la direction des groupements 104, 106 successifs.

De plus, dans le mode de réalisation décrit ici, à titre d'exemple non limitatif, le nombre de groupements superposés est égal à 2 afin de ne pas surcharger le dessin, et la raison de progression géométrique est également prise égale à 2. Ces valeurs ne sont pas limitatives.

Cette superposition de groupements de matériau BIP ayant des caractéristiques de perméabilité magnétique, de permittivité diélectrique et d'épaisseur  $e_i$  différentes accroît la largeur de la bande passante étroite créée au sein de la même bande non passante du matériau BIP. Ainsi, les fréquences de travail des éléments rayonnants 40 à 43 sont choisies plus espacées les unes des autres que dans le mode de réalisation de la figure 3.

Le fonctionnement de ce dispositif rayonnant 100 découle directement de celui de l'antenne 4.

En variante, la parabole 62 est remplacée par une lentille électromagnétique.

Les dispositifs rayonnants décrits jusqu'à présents sont réalisés à partir de structures planes. Toutefois, en variante, la surface de ces différents éléments est adaptée à la forme de la parabole ou du dispositif apte à focaliser les faisceaux d'ondes électromagnétiques. Par exemple, la figure 10 représente une antenne 200 équipée d'un dispositif 202 apte à focaliser les faisceaux d'ondes électromagnétiques sur une antenne 204. Le dispositif 202 est, par exemple, un réflecteur métallique en forme de demi-cylindre. L'antenne 204 est placée au foyer de ce dispositif 202. L'antenne 204 est similaire à l'antenne de

la figure 3, à l'exception du fait que le plan réflecteur, et les lames du matériau BIP à défaut, présentent chacun une surface convexe correspondant à la surface concave du demi-cylindre.

5 En variante, le rayonnement émis ou reçu par chaque élément d'excitation est polarisé dans une direction différente de celle utilisée par les éléments d'excitation voisins. Avantageusement, la polarisation de chaque élément d'excitation est orthogonale à celle utilisée par les éléments d'excitation voisins. Ainsi, les interférences et les couplages entre éléments d'excitation voisins sont limités.

10 En variante, un même élément d'excitation est adapté pour fonctionner successivement ou simultanément à plusieurs fréquences de travail différentes. Un tel élément permet de créer une zone de couverture dans laquelle, par exemple, l'émission et la réception se font à des longueurs d'ondes différentes. Un tel élément d'excitation est également apte à faire de la  
15 commutation de fréquence.

### REVENDICATIONS

1. Système d'émission et/ou de réception d'ondes électromagnétiques comportant :
- un dispositif (62) apte à focaliser les ondes électromagnétiques émises et/ou reçues par le système sur un point focal, et
  - un émetteur et/ou récepteur d'ondes électromagnétiques placé sensiblement au point focal de manière à émettre et/ou recevoir lesdites ondes électromagnétiques,
- caractérisé :
- en ce qu'il comporte une antenne multi-faisceaux (4), dont la surface extérieure rayonnante est sensiblement placée sur le point focal de manière à former ledit émetteur et/ou récepteur d'ondes électromagnétiques,
  - en ce que l'antenne comporte :
    - un matériau BIP (20, 42, 172) (Bande d'Interdiction Photonique) apte à filtrer spatialement et fréquentiellement des ondes électromagnétiques, ce matériau BIP présentant au moins une bande non passante et formant une surface extérieure (38, 158) rayonnante en émission et/ou en réception,
    - au moins un défaut (36, 76, 78, 156, 180) de périodicité du matériau BIP de manière à créer au moins une bande passante étroite au sein de ladite au moins une bande non passante de ce matériau BIP, et
    - un dispositif d'excitation (40 à 43, 84, 86, 160, 162, 190) apte à émettre et/ou recevoir des ondes électromagnétiques à l'intérieur de ladite au moins une bande passante étroite créée par ledit au moins un défaut, ce dispositif d'excitation étant apte à travailler simultanément au moins autour d'une première et d'une seconde fréquences de travail distinctes,
    - en ce que le dispositif d'excitation comporte un premier et un second éléments d'excitation (40 à 43, 84, 86) distincts et indépendants l'un de l'autre, aptes chacun à émettre et/ou à recevoir des ondes électromagnétiques, le premier élément d'excitation étant apte à travailler à la première fréquence de



travail et le second élément d'excitation étant apte à travailler à la seconde fréquence de travail,

- en ce que le ou chaque défaut (36, 76, 78) de périodicité du matériau BIP forme une cavité (36, 76, 78) résonante à fuites présentant une  
5 hauteur constante dans une direction orthogonale à ladite surface extérieure rayonnante (38), et des dimensions latérales déterminées parallèles à ladite surface extérieure rayonnante,

- en ce que la première et la seconde fréquences de travail sont aptes à exciter le même mode de résonance d'une cavité résonante à fuites  
10 (36, 76, 78), ce mode de résonance s'établissant de façon identique quelles que soient les dimensions latérales de la cavité, de manière à créer sur ladite surface extérieure respectivement une première et une seconde taches rayonnantes (46 à 49), chacune de ces taches rayonnantes représentant l'origine d'un faisceau d'ondes électromagnétiques rayonnées en émission et/ou  
15 en réception par l'antenne,

- en ce que chacune des taches rayonnantes (46 à 49) présente un centre géométrique dont la position est fonction de la position de l'élément d'excitation qui lui donne naissance et dont la surface est supérieure à celle de l'élément rayonnant lui donnant naissance, et

- en ce que le premier et le second éléments d'excitation (40 à 43, 84, 86) sont placés l'un par rapport à l'autre de manière à ce que la première et la seconde taches rayonnantes (46 à 49) soient disposées sur la surface  
20 extérieure (38) du matériau BIP l'une à côté de l'autre et se chevauchent partiellement.

2. Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que le dispositif apte à focaliser les ondes électromagnétiques est un réflecteur parabolique (62).

3. Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que le dispositif apte à focaliser les ondes électromagnétiques est une lentille  
30 électromagnétique.

4. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que :

- chaque tache rayonnante (46 à 49) est sensiblement circulaire, le centre géométrique correspondant à un maximum de puissance émise et/ou reçue et la périphérie correspondant à un maximum de puissance émise et/ou reçue égale à une fraction de la puissance maximale émise et/ou reçue en son centre, et

- la distance, dans un plan parallèle à la surface extérieure, séparant les centres géométriques des deux éléments d'excitation (40 à 43, 84, 86) est strictement inférieure au rayon de la tache rayonnante produite par le premier élément d'excitation ajouté au rayon de la tache rayonnante produite par le second élément d'excitation.

5. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le centre géométrique de chaque tache rayonnante (46 à 49) est placé sur la ligne orthogonale à ladite surface extérieure rayonnante (38) et passant par le centre géométrique de l'élément d'excitation (40 à 43) lui donnant naissance.

6. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le premier et le second éléments d'excitation (40 à 43) sont placés à l'intérieur d'une même cavité (36).

7. Système selon la revendication 6, caractérisé en ce que la première et la seconde fréquences de travail sont situées à l'intérieur de la même bande passante étroite créée par cette même cavité (36).

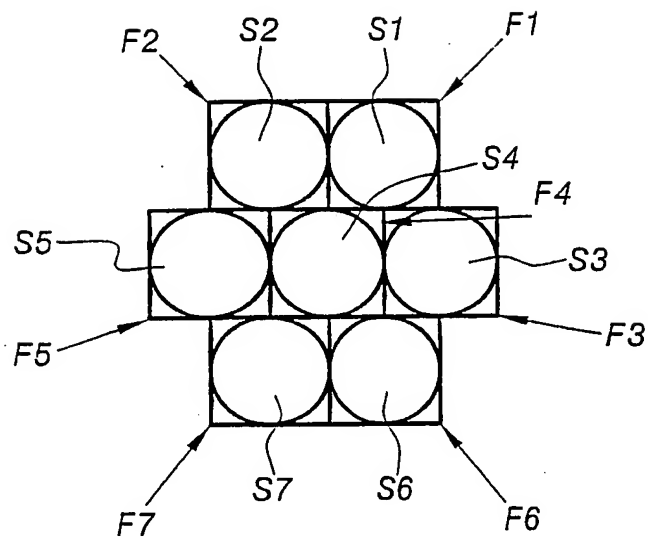
8. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que le premier et le second éléments d'excitation (84, 86) sont placés chacun à l'intérieur de cavités résonantes distinctes (76, 78), et en ce que la première et la seconde fréquences de travail sont aptes à exciter chacune un mode de résonance indépendant des dimensions latérales de leur cavité respective.

9. Antenne selon la revendication 8, caractérisée en ce qu'elle comporte un plan réflecteur (74) de rayonnement électromagnétique associé au matériau BIP (72), ce plan réflecteur étant déformé de manière à former lesdites cavités distinctes.

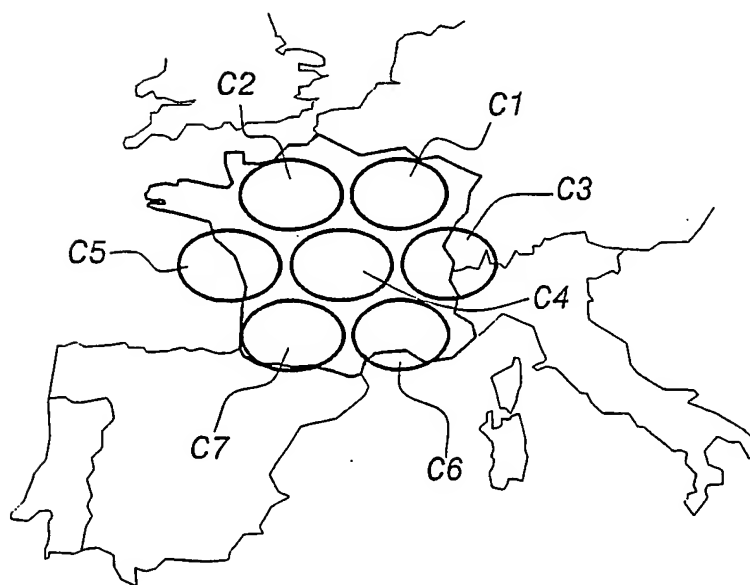
10. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le ou chaque cavité est de forme parallélépipédique.

5 11. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que le dispositif apte à focaliser les ondes électromagnétiques comporte un réflecteur (202) en forme de demi-cylindre, et en ce que le matériau BIP de l'antenne (204) présente une surface convexe correspondant à la surface en forme de demi-cylindre du réflecteur (202).

1/7

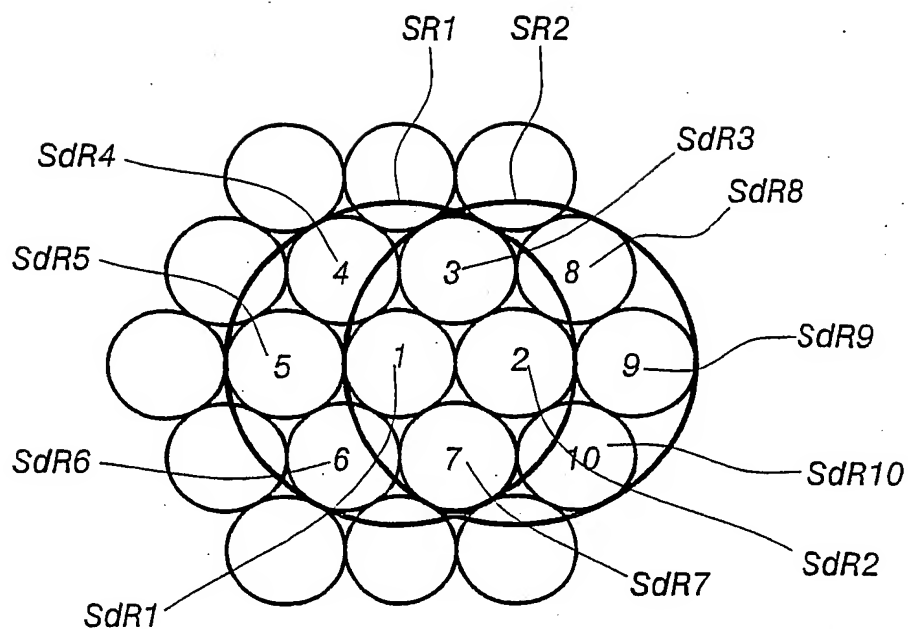


**FIG. 1A**

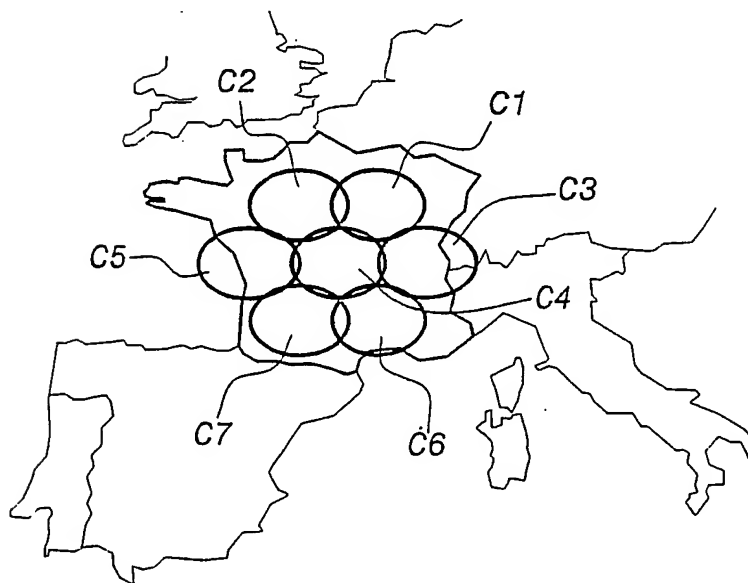


**FIG. 1B**

2/7

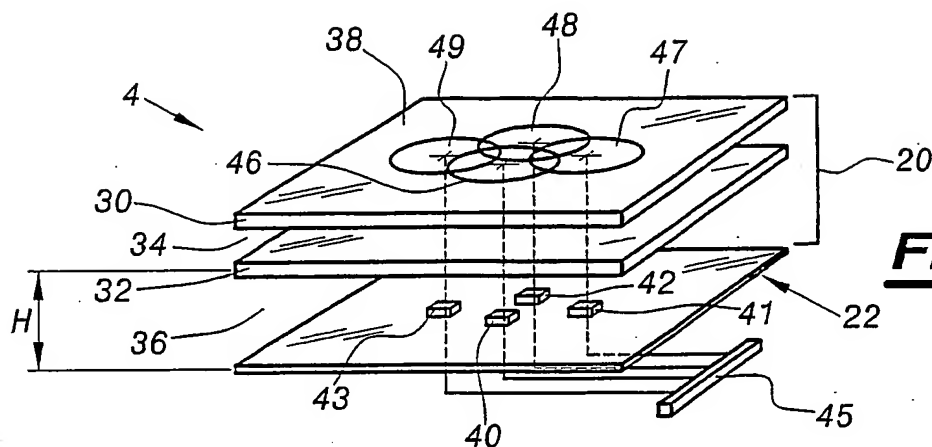


**FIG.2A**

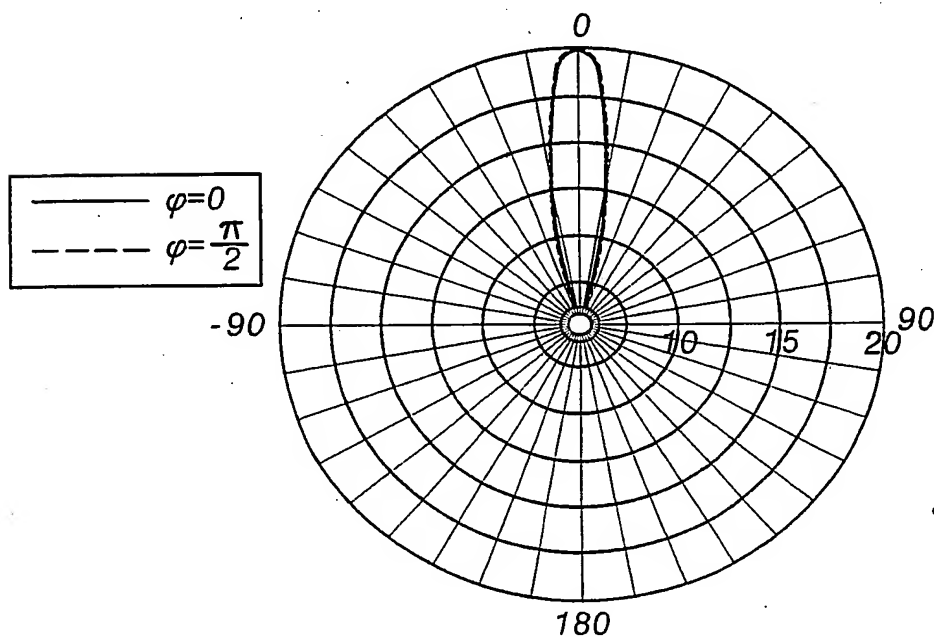


**FIG.2B**

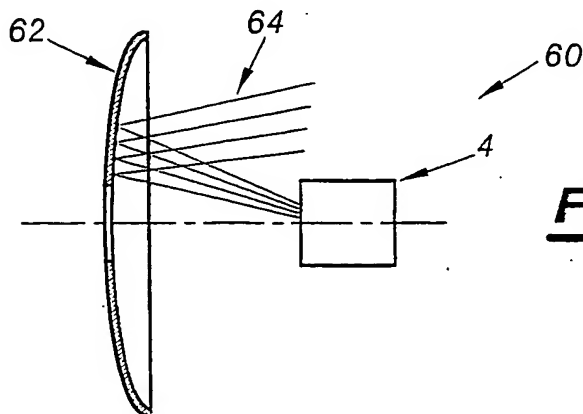
3/7



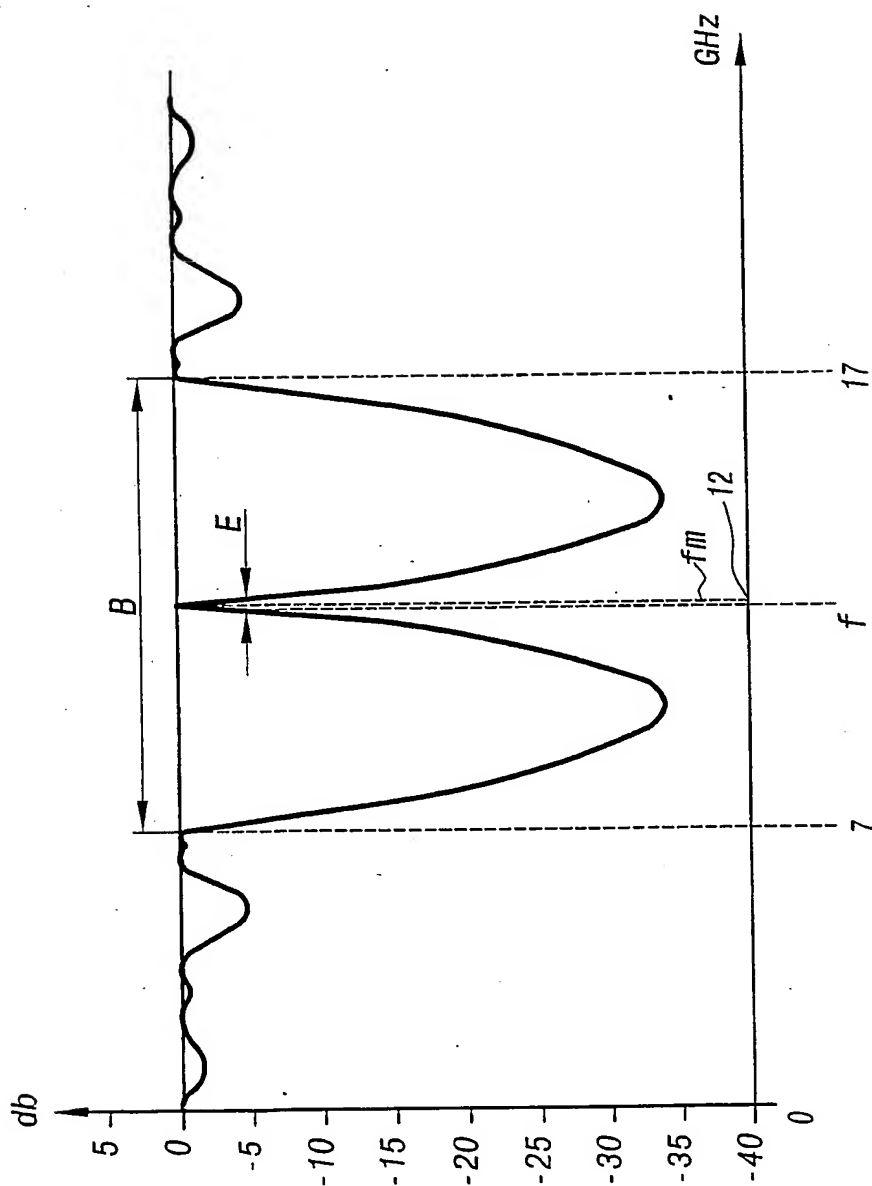
**FIG. 3**



**FIG. 5**

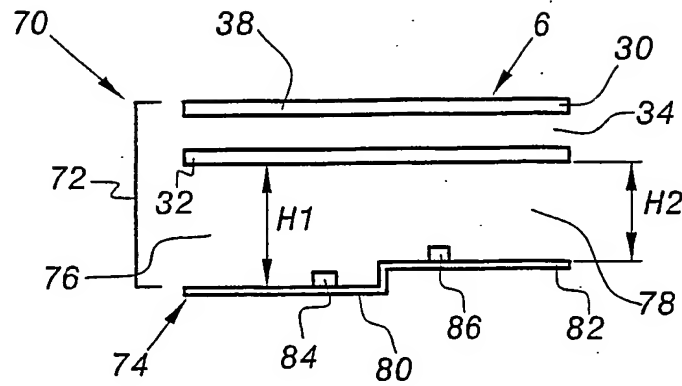


**FIG. 6**

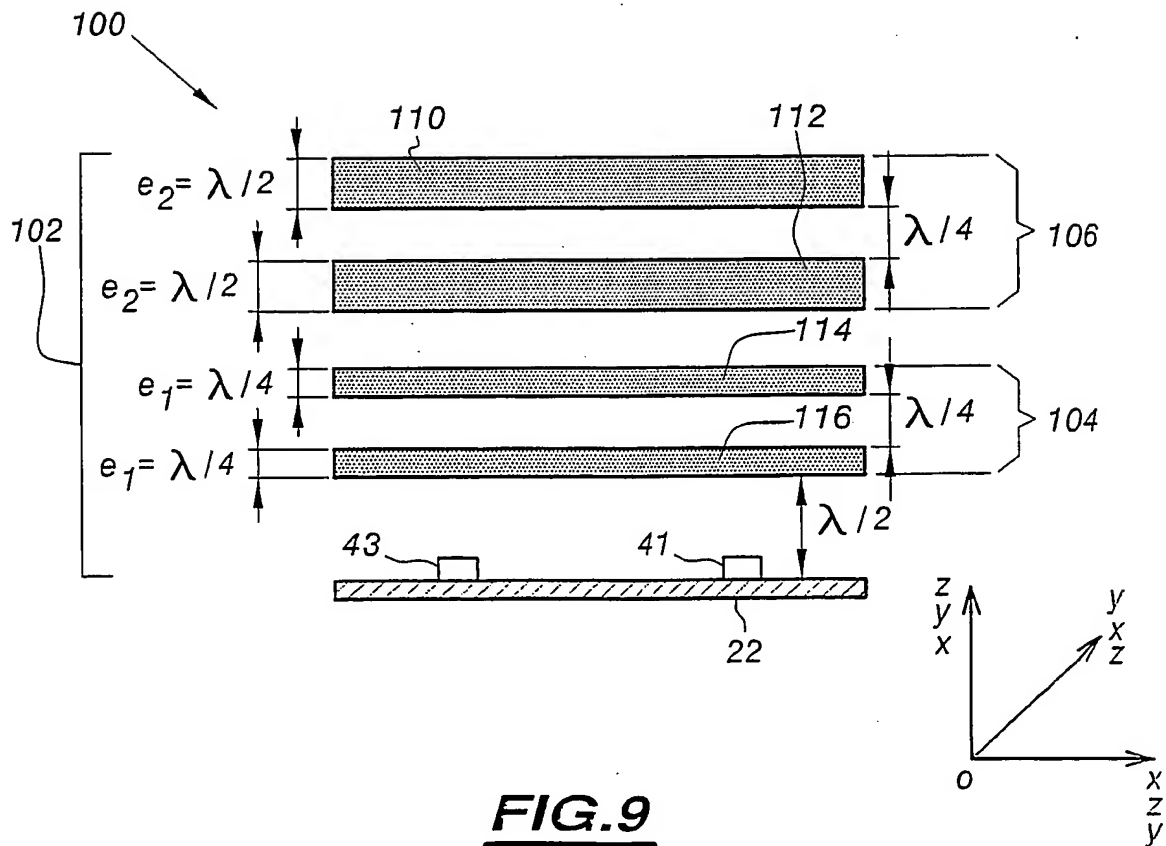


**FIG.4**

5/7

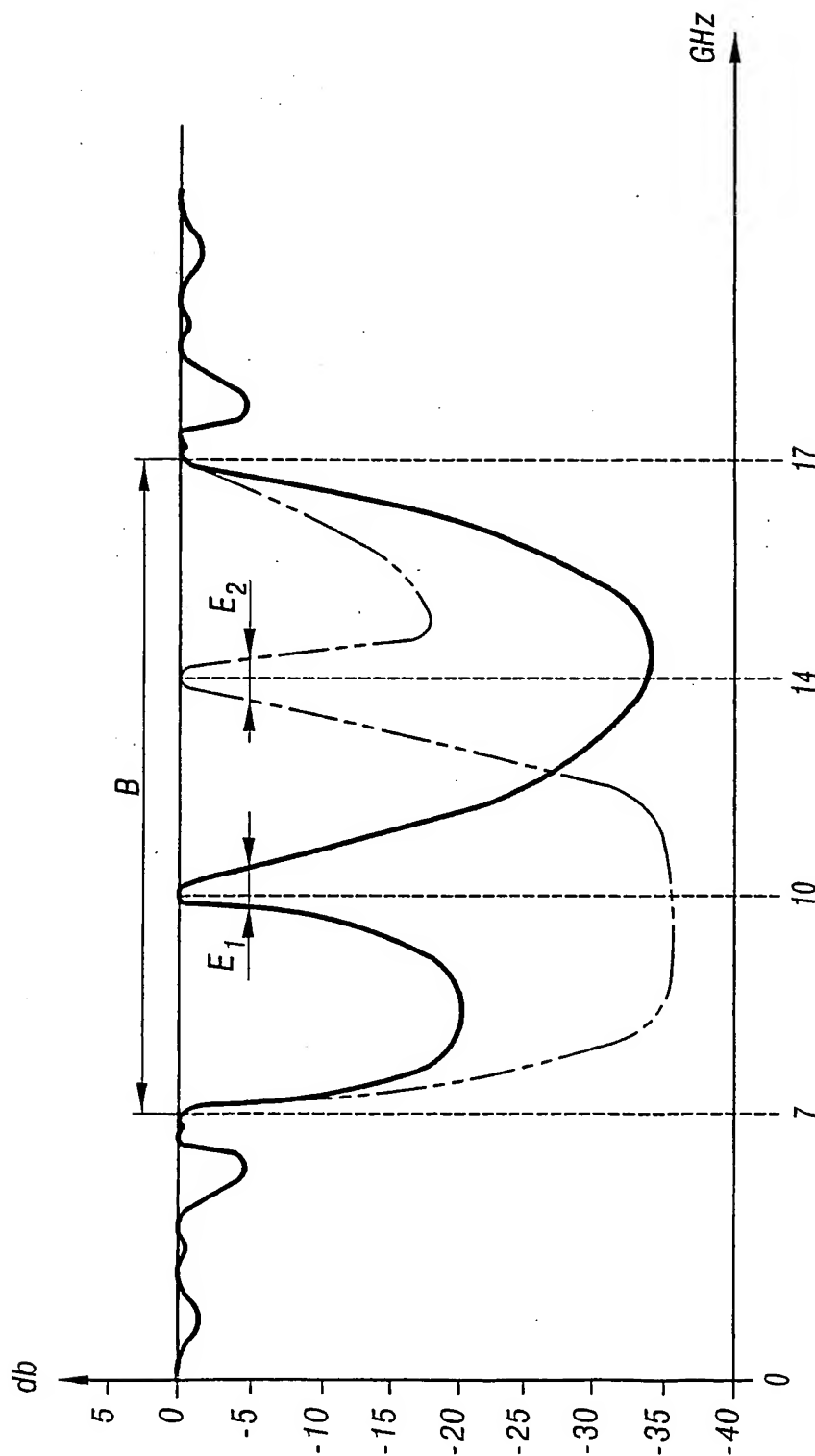


**FIG. 7**



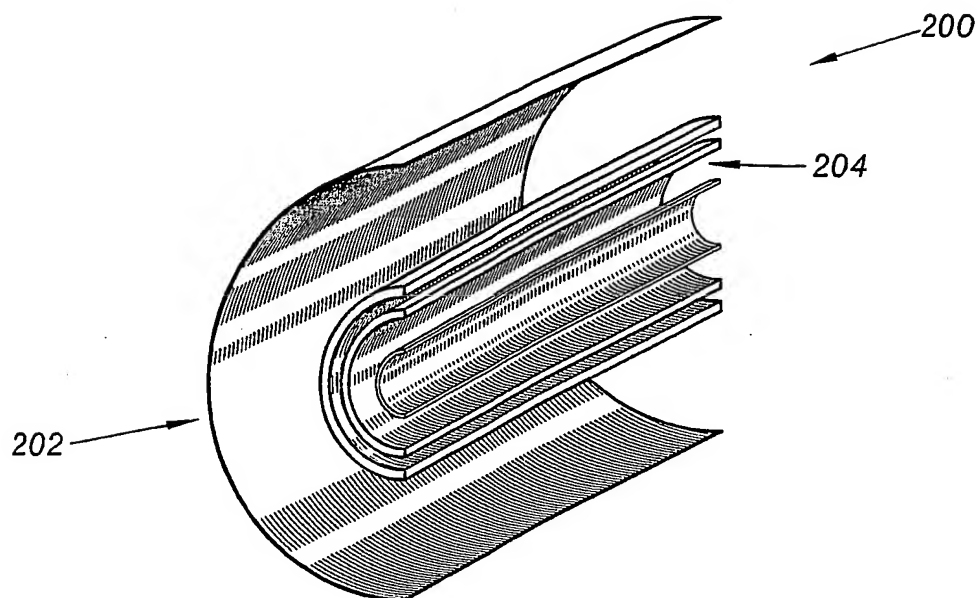
**FIG. 9**





**FIG.8**

7/7



**FIG. 10**

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

PCT/FR 03/03145

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H01Q5/00 H01Q15/00 H01Q19/17 H01Q25/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H01Q

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, INSPEC, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	FR 2 801 428 A (CENTRE NAT RECH SCIENT) 25 May 2001 (2001-05-25) cited in the application the whole document	1-11
A	CHUNG K B ET AL: "Defect modes in a two-dimensional square-lattice photonic crystal" OPTICS COMMUNICATIONS, NORTH-HOLLAND PUBLISHING CO. AMSTERDAM, NL, vol. 209, no. 4-6, 15 August 2002 (2002-08-15), pages 229-235, XP004375303 ISSN: 0030-4018 the whole document	1

☒

Further documents are listed in the continuation of box C.

☒

Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23 March 2004

Date of mailing of the international search report

30/03/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Moumen, A

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

PCT/FR 03/03145

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4 236 161 A (OHM EDWARD A) 25 November 1980 (1980-11-25) the whole document	1
A	THEVENOT M ET AL: "DIRECTIVE PHOTONIC-BANDGAP ANTENNAS" IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 47, no. 11, November 1999 (1999-11), pages 2115-2121; XP000865109 ISSN: 0018-9480 figures 10,11	1-11
A	SHI B ET AL: "DEFECTIVE PHOTONIC CRYSTALS WITH GREATLY ENHANCED SECOND-HARMONIC GENERATION" OPTICS LETTERS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, US, vol. 26, no. 15, 1 August 2001 (2001-08-01), pages 1194-1196, XP001110592 ISSN: 0146-9592 the whole document	1-11
A	US 6 262 830 B1 (SCALORA MICHAEL) 17 July 2001 (2001-07-17) figure 2	1-11

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

PCT/FR 03/03145

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
FR 2801428	A	25-05-2001	FR 2801428 A1	25-05-2001
			AU 1868401 A	30-05-2001
			CA 2360432 A1	25-05-2001
			CA 2448636 A1	25-05-2001
			CN 1337078 T	20-02-2002
			EP 1145379 A1	17-10-2001
			WO 0137373 A1	25-05-2001
			JP 2003514476 T	15-04-2003
			US 6549172 B1	15-04-2003
US 4236161	A	25-11-1980	NONE	
US 6262830	B1	17-07-2001	CA 2304019 A1	01-04-1999
			EP 1015917 A2	05-07-2000
			WO 9915922 A2	01-04-1999
			US 2002021479 A1	21-02-2002

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

PCT/FR 03/03145

**A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE**  
 CIB 7 H01Q5/00 H01Q15/00 H01Q19/17 H01Q25/00

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

**B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE**

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)  
 CIB 7 H01Q

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)  
 EPO-Internal, PAJ, INSPEC, WPI Data

**C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS**

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	FR 2 801 428 A (CENTRE NAT RECH SCIENT) 25 mai 2001 (2001-05-25) cité dans la demande le document en entier	1-11
A	CHUNG K B ET AL: "Defect modes in a two-dimensional square-lattice photonic crystal" OPTICS COMMUNICATIONS, NORTH-HOLLAND PUBLISHING CO. AMSTERDAM, NL, vol. 209, no. 4-6, 15 août 2002 (2002-08-15), pages 229-235, XP004375303 ISSN: 0030-4018 le document en entier	1
	-/-	

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"Z" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

23 mars 2004

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

30/03/2004

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
 Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Moumen, A

## C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 4 236 161 A (OHM EDWARD A) 25 novembre 1980 (1980-11-25) le document en entier	1
A	THEVENOT M ET AL: "DIRECTIVE PHOTONIC-BANDGAP ANTENNAS" IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 47, no. 11, novembre 1999 (1999-11), pages 2115-2121, XP000865109 ISSN: 0018-9480 figures 10,11	1-11
A	SHI B ET AL: "DEFECTIVE PHOTONIC CRYSTALS WITH GREATLY ENHANCED SECOND-HARMONIC GENERATION" OPTICS LETTERS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, US, vol. 26, no. 15, 1 août 2001 (2001-08-01), pages 1194-1196, XP001110592 ISSN: 0146-9592 le document en entier	1-11
A	US 6 262 830 B1 (SCALORA MICHAEL) 17 juillet 2001 (2001-07-17) figure 2	1-11

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

PCT/FR 03/03145

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2801428	A	25-05-2001	FR 2801428 A1	25-05-2001
			AU 1868401 A	30-05-2001
			CA 2360432 A1	25-05-2001
			CA 2448636 A1	25-05-2001
			CN 1337078 T	20-02-2002
			EP 1145379 A1	17-10-2001
			WO 0137373 A1	25-05-2001
			JP 2003514476 T	15-04-2003
			US 6549172 B1	15-04-2003
US 4236161	A	25-11-1980	AUCUN	
US 6262830	B1	17-07-2001	CA 2304019 A1	01-04-1999
			EP 1015917 A2	05-07-2000
			WO 9915922 A2	01-04-1999
			US 2002021479 A1	21-02-2002